

**①公道走行を再現した振動試験による折り畳み
自転車の破損状況**

～公道での繰り返し走行を再現した結果～

②公道走行を想定した試験用路面について

九州支所
製品安全技術課
清水 寛治

目次

1. 折り畳み自転車のフレームはどのように破損するのか

- 公道の走行振動を再現する自転車用ロードシミュレータについて
- 繰り返し走行を想定した折り畳み自転車の破損部の特徴
～公道による振動を繰り返し再現した結果～

2. 公道走行を想定した試験用路面の検討

- 段差のある公道を走行し、自転車に生じるひずみを測定した結果
- 段差によるひずみの大きさなど、公道の走行で発生するひずみの傾向を分析

1. 繰り返し使用による折り畳み自転車のフレーム破損

- 折り畳み自転車のフレームが破損する事故は、2013年度以降の5年間で13件発生しており、内6件が重大製品事故となっています。
 - 折り畳み自転車のフレーム破損による事故原因調査のため、複数の折り畳み自転車を用いて繰り返し走行による破損の特徴を調査しました。
 - 繰り返し走行による破損の特徴とフレームが破損した事故品を比較することにより、より詳細な事故原因の推定が可能となります。
- ◆ 折り畳み自転車のフレーム破損の特徴を明らかにすることにより、これらの情報を設計・製造段階へフィードバックすることで重大製品事故の減少が期待されます。

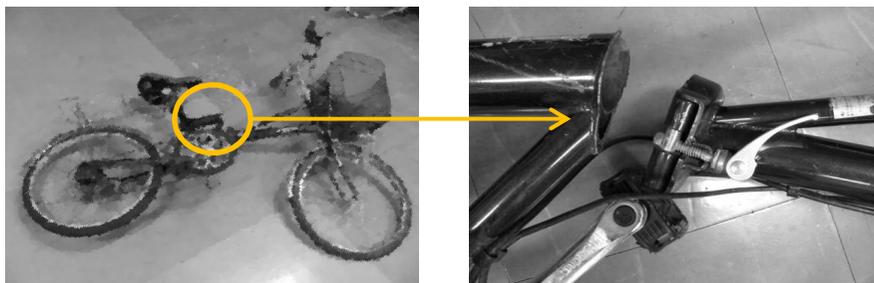


写真1 折り畳み自転車の破損例

◆ 折り畳み自転車に加える振動

試験を実施した折り畳み自転車の数量

- 鉄製フレーム 1 型式
- アルミニウム合金製フレーム 4 型式

公道の走行条件

- 歩道と車道が交差する段差3cm、時速15km
- 体重 65kg

収集するデータ

- 破損までの加振回数
- 破損部位
- 破面の写真（電子顕微鏡写真等）

➤ ロードシミュレータ(振動試験装置) を使用し、段差を通過した際の振動を自転車が破損するまで加えた。

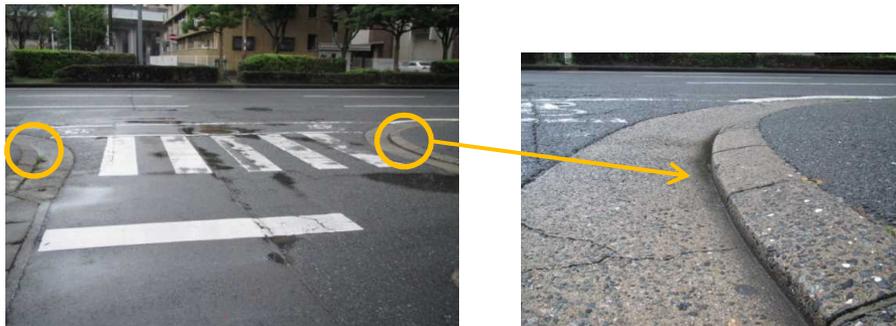


写真 2 歩道と車道が交差する境目

事故原因調査には、衝突や極端な段差の繰り返しではなく、普通に使用したときの壊れ方のデータが必要！

◆公道の走行を再現する自転車用ロードシミュレータ

路上を走行した時、段差等で生じる衝撃加速度の再現が可能。



写真3 全体



写真4 加振部



写真5 ビデオ映像

試験時間の短縮例

例えば、5日間（1日8時間運転）で1.5万回の段差通過を再現できます。

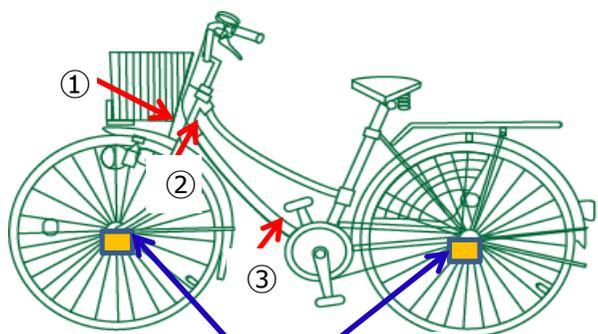
1日20回の段差通過で月に20日間使用したとすると、約3年間の使用に相当。

◆ ロードシミュレータによるひずみの再現手順

(1)公道を走行し加速度・ひずみを計測



(2)シミュレータで再現試験



加速度センサ

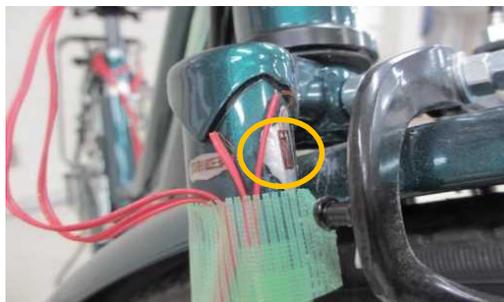


写真6 ひずみゲージ



写真7 2軸加速度センサ
(車軸の水平、鉛直加速度を測定)

➤ 振動を再現できる段差の例



写真8 時速10km段差8cm

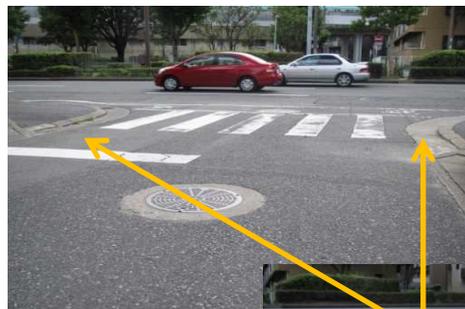


写真9 時速20km段差3cm

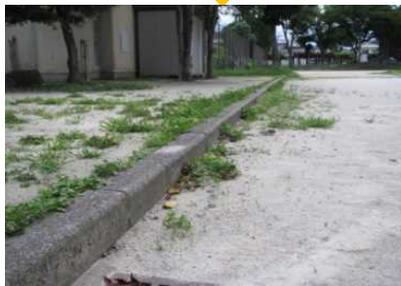
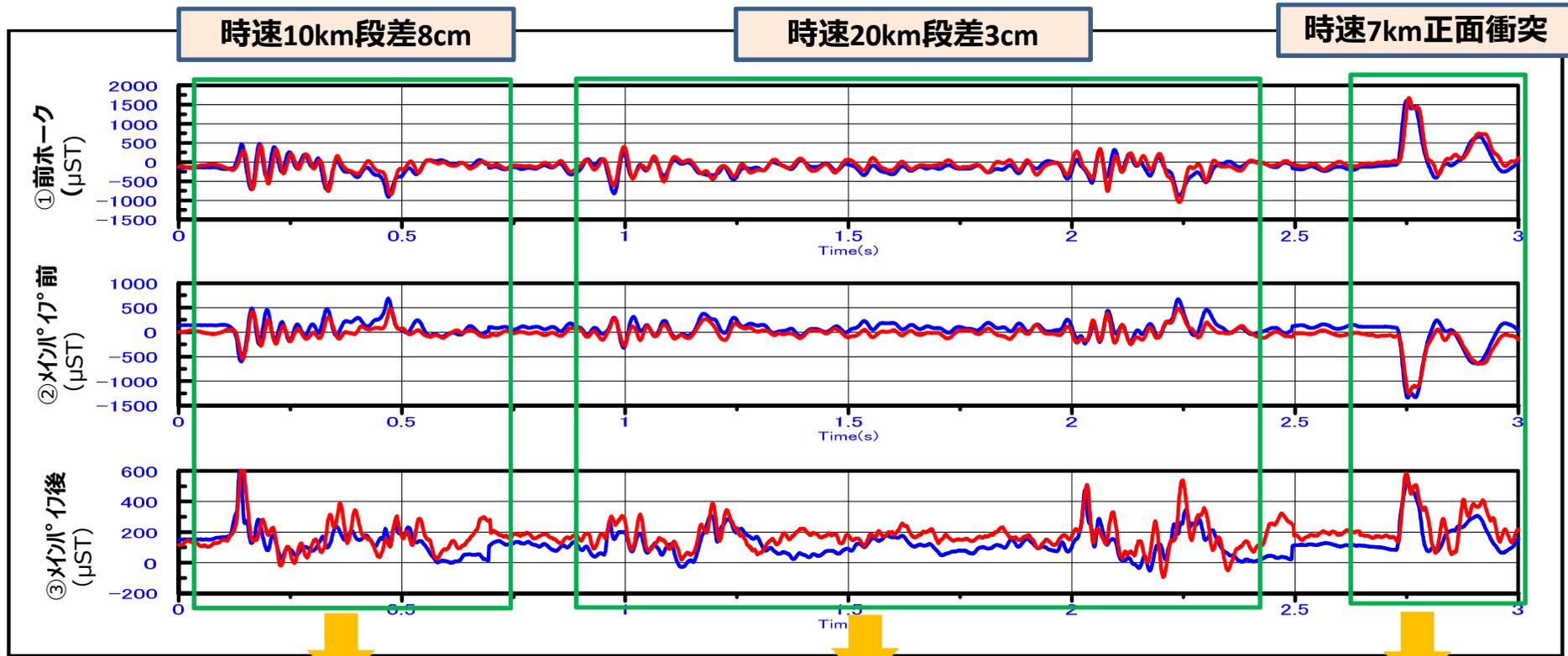


写真10 正面衝突

◆異なる走行場面のひずみを再現することが可能

グラフ1 ひずみの再現結果

青：公道を走行したときのひずみ
赤：シミュレータによる再現ひずみ



◆ 鉄製フレームの結果

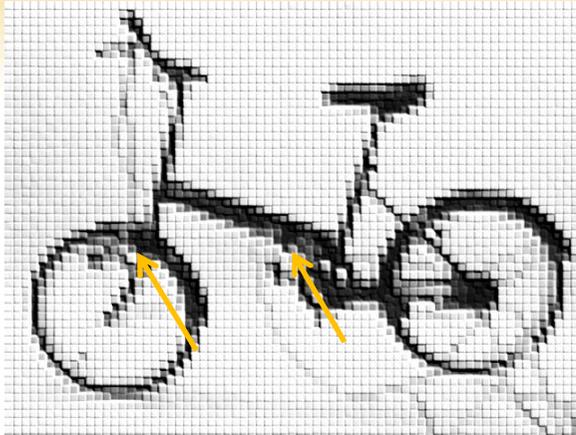


写真11 き裂の発生か所

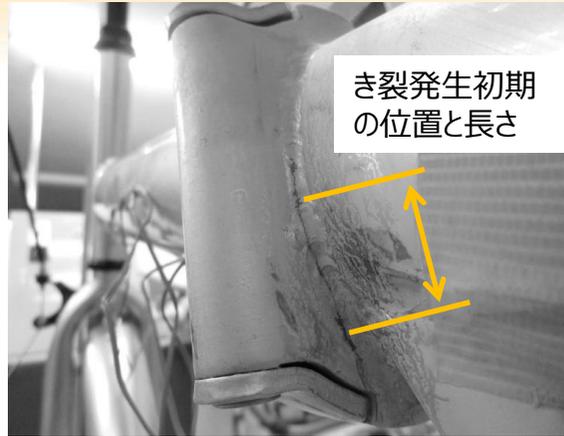


写真12 金具の後側にき裂

破損した加振回数

- 10万4千回 (約22年)

破損部位

- 折り畳み金具の後ろ側溶接部
- 折り畳み金具のヒンジ側
- 前ホーク肩の後ろ側

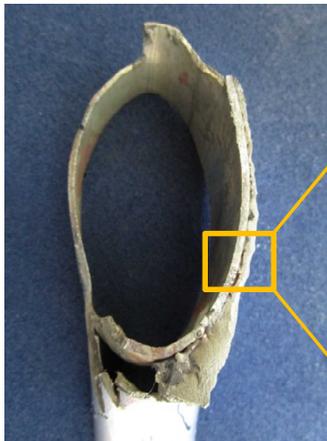


写真13 破断面

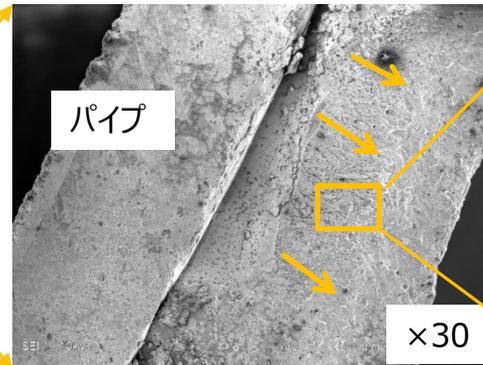


写真14 SEM画像

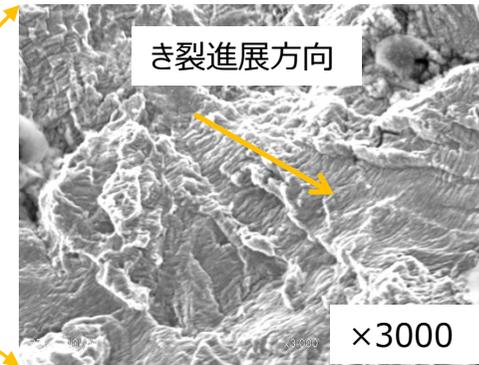


写真15 疲労破面

- き裂発生か所は、折り畳み金具のヒンジ後ろ側で、斜め下方にき裂が発生する。
- き裂の進展方向は、板厚方向で、内側から外側へ向かってき裂が進展。
- き裂の進展は、放射状ではなく、面で広がっている。

◆ 鉄製フレームの結果

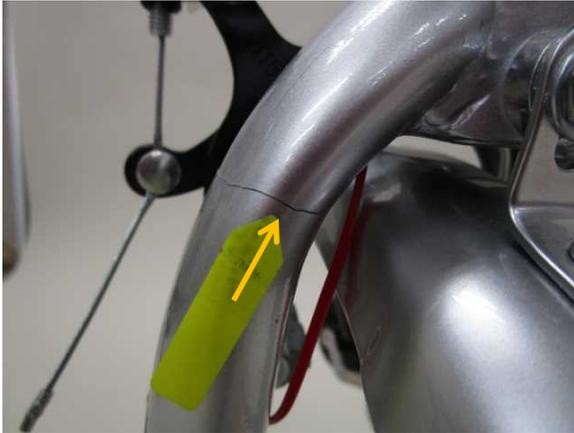
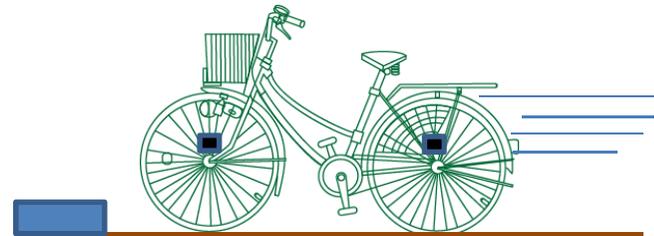


写真16 ホークの後側にき裂

- 前ホークは、市街地の段差を繰り返し通過したとき、ホーク肩の後ろ側からき裂が発生する。



低い段差に繰り返し衝突するとき、ホークが押されるので前方からき裂が発生しそうですが、実際にはホークの後方からき裂が発生します。

◆ アルミ合金製フレーム No.1 の結果

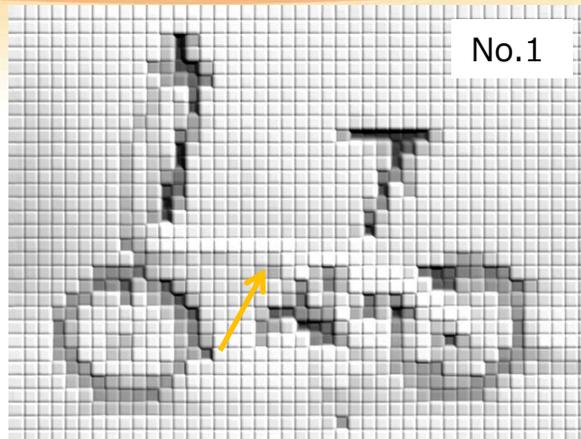


写真17 き裂の発生か所



写真18 金具の前側にき裂

破損した加振回数

- 1万7千回 (約4年)

破損部位

- 折り畳み金具の前側溶接部
き裂は2本
- 折り畳み金具のヒンジ側



写真19 破断面

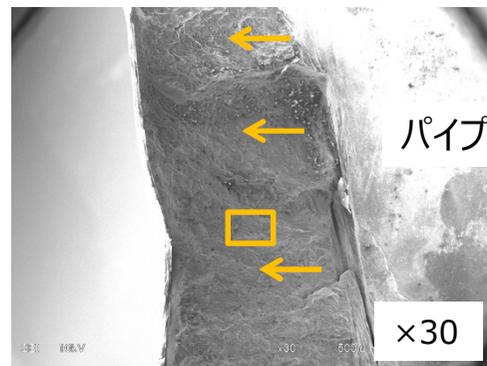


写真20 SEM画像

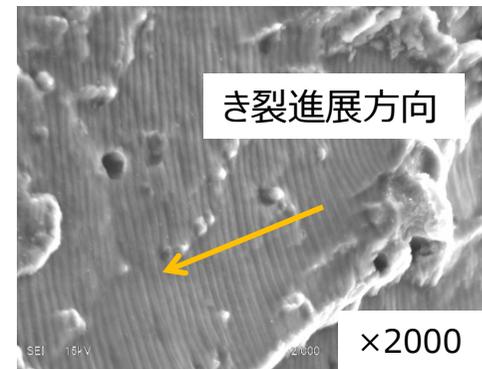


写真21 疲労破面

- き裂発生か所は、折り畳み金具のヒンジ前側で、斜め下方にき裂が発生する。
- き裂の進展方向は、板厚方向で、内側から外側へ向かってき裂が進展。
- 溶接金属と母材に隙間が認められる。

◆ アルミ合金製フレーム No.2 の結果

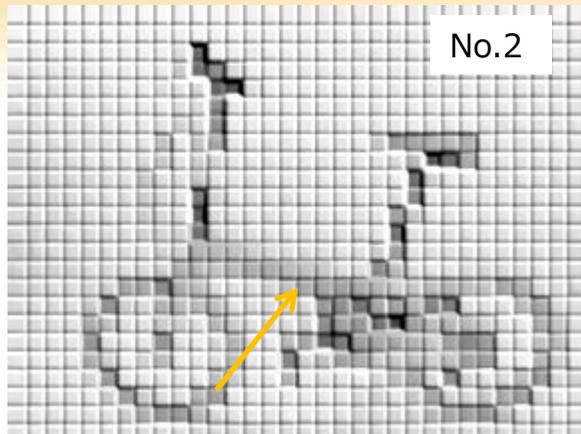


写真22 き裂の発生か所

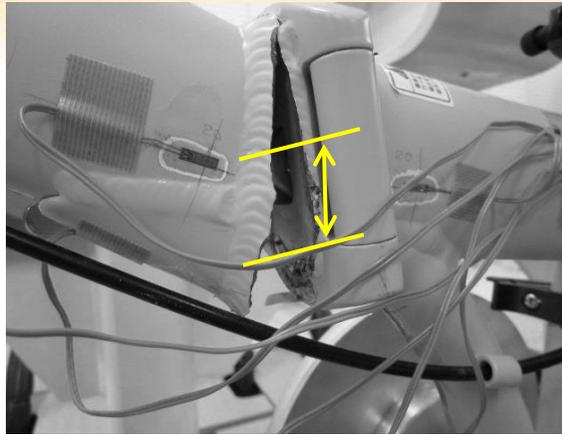


写真23 金具の前側にき裂

破損した加振回数

- 2万5千回（約5年）

破損部位

- 折り畳み金具の前側溶接部
- 折り畳み金具のヒンジ側



写真24 破断面

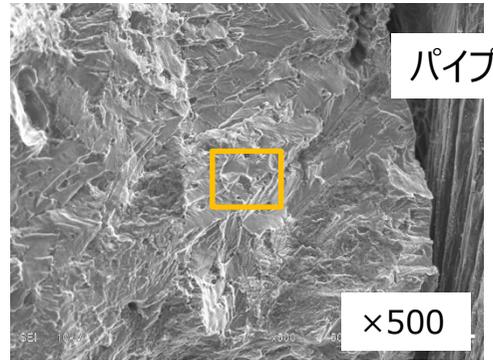


写真25 SEM画像

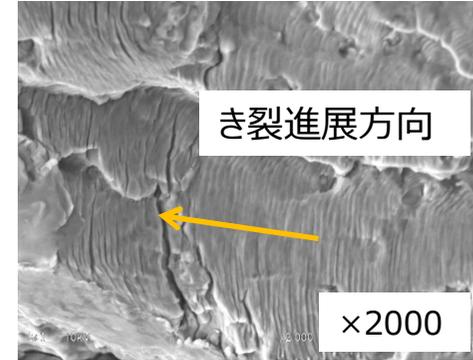


写真26 疲労破面

- き裂発生か所は、折り畳み金具のヒンジ前側で、斜め下方にき裂が発生する。
- き裂の進展方向は、板厚方向で、内側から外側へ向かってき裂が進展。
- 溶接金属と母材に隙間が認められる。

◆ アルミ合金製フレーム No. 3 の結果

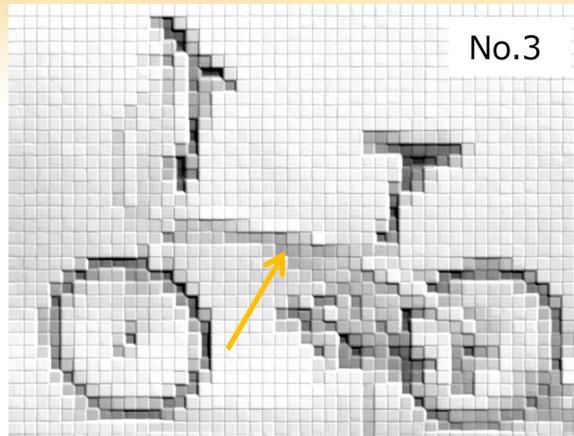


写真27 き裂の発生か所

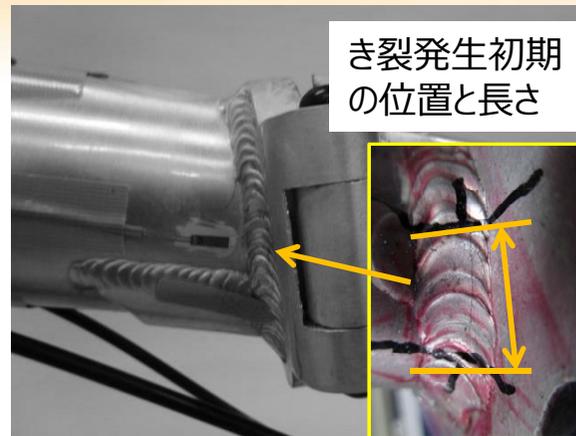


写真28 金具の前側にき裂
➤ 髪の毛のように細いき裂

破損した加振回数

- 17万回(約35年)
- 10万回以降加振力10%増

破損部位

- 折り畳み金具の前側溶接部
- 折り畳み金具のヒンジ側



写真29 破断面

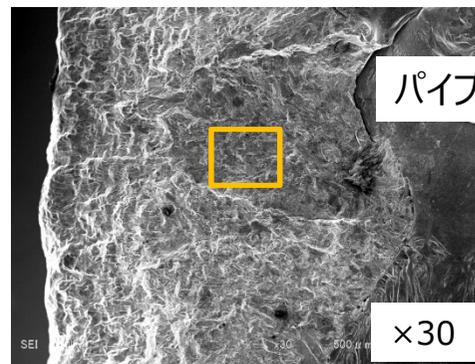


写真30 SEM画像

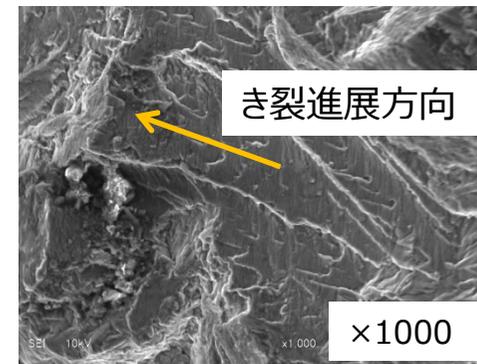


写真31 疲労破面

- き裂発生か所は、金具のヒンジ側で、斜め下方にき裂が発生する。
- き裂の進展方向は、板厚方向で、内側から外側方向へき裂が進展。
- 溶接金属と母材に隙間が認められる。

◆ アルミ合金製フレーム No.4 の結果

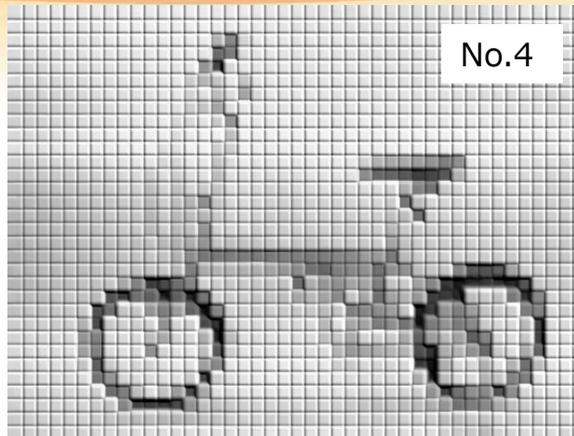


写真32 破損しなかったフレーム

破損なし

- 28万回破損なし (58年)
- 10万回以降加振力10%増

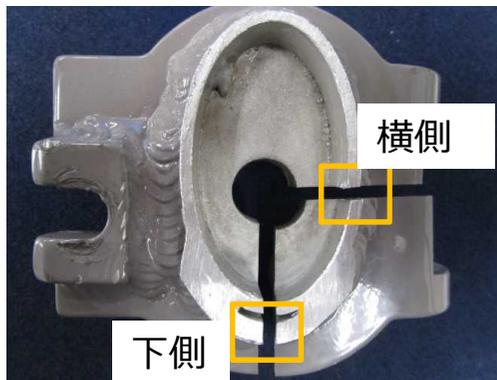


写真33 折り畳み金具

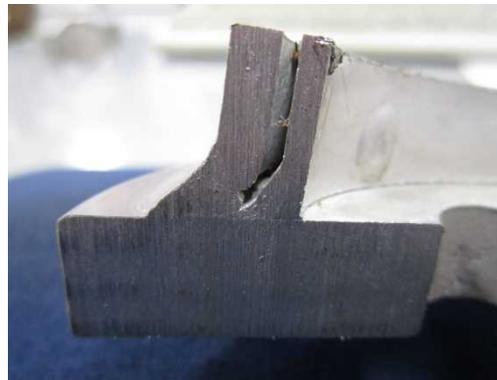


写真34 下側の断面



写真35 横側の断面

□ 観察した折り畳み金具の切断面には、溶接不良は認められない。

折り畳み自転車のフレーム破損状況 まとめ

段差のある公道を繰り返し走行したとき、フレームはどのように破損するのか

- き裂の発生か所は、折り畳み金具の真下ではなく、少し横から発生しました。
→フレームは前後・上下方向の力を受けますが、真下からき裂が発生するわけではありません。
- 折り畳み金具溶接部のき裂は、金具のヒンジ側から生じました。
- 表面に現れた最初のき裂は、髪の毛のように細いものでした。
- き裂の進展は、放射状ではなく、面で広がっていくことが確認されました。
- 溶接部の耐久性は、溶接状態が影響しているものと推定されます。
- 前ホークが段差乗り越えの衝撃を受けたとき、ホークの後側からき裂が発生しました。
→前方からの衝撃でも、ホークの後ろ側からき裂が発生し、進展します。

2. 公道走行を想定した試験用路面について

- 事故原因調査では、公道の走行を想定した再現試験が必要となることがある。
- 走行する路面をどのように選んだのか、明らかにする必要がある。
- 段差のある歩道など、任意の8か所についてそれぞれ10分間走行し、自転車に生じるひずみを測定した。



写真36 公道の例

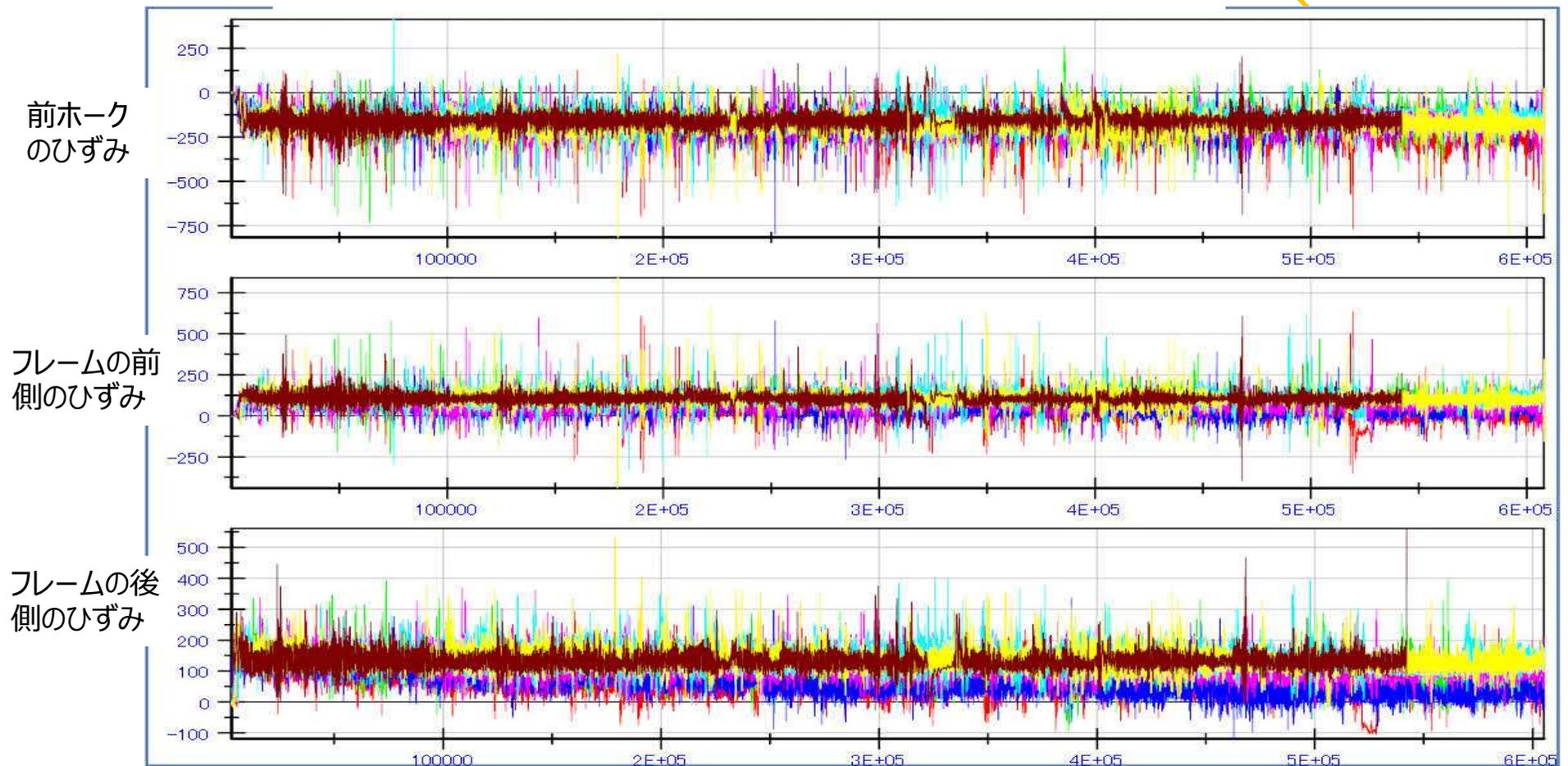
確認したいのは

- 路面の段差は条例で定められていることから、走行時に自転車を受ける振動は地域による差が小さいのでは？

◆ 段差のある公道を走行したとき、自転車に生じるひずみを測定

突出したひずみは発生していない。

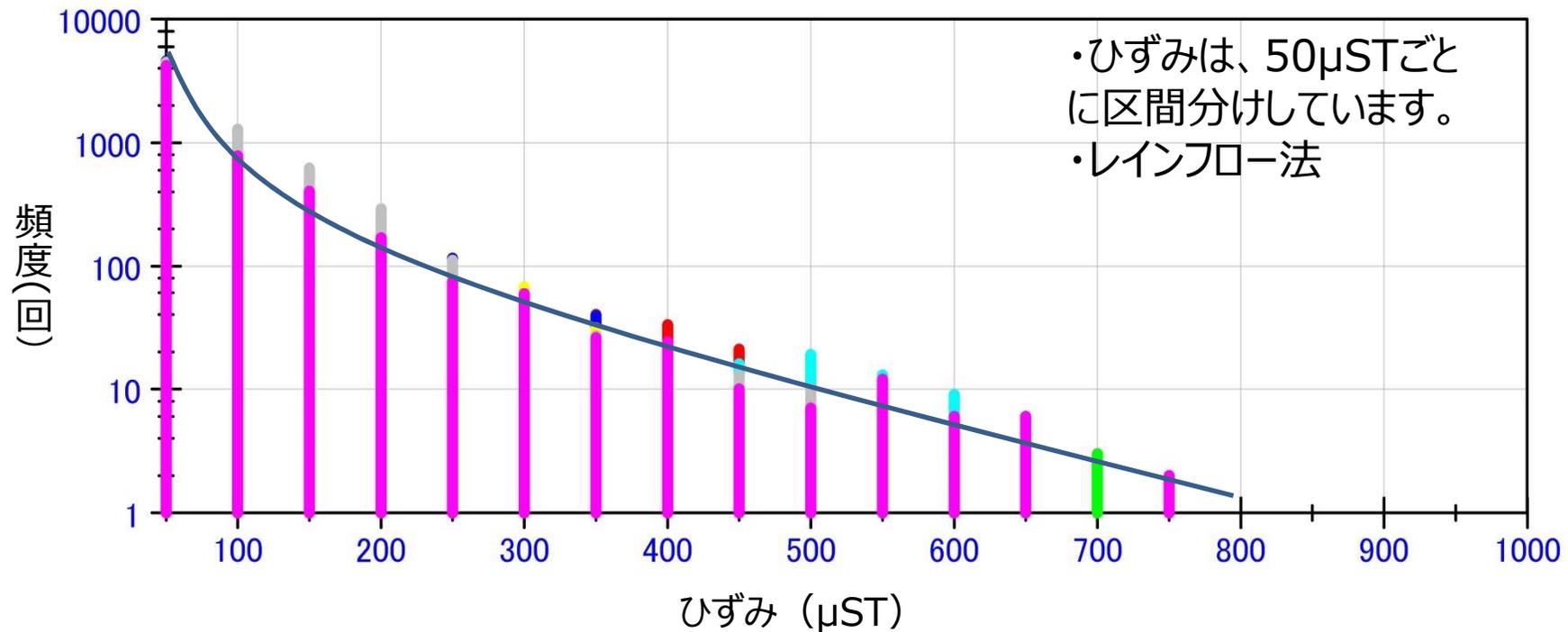
グラフ2 公道を10分間走行したときの自転車各部のひずみ



8か所で走行した自転車各部のひずみを重ねて表示

◆ 公道走行によるひずみの頻度分布 ～前ホーク～

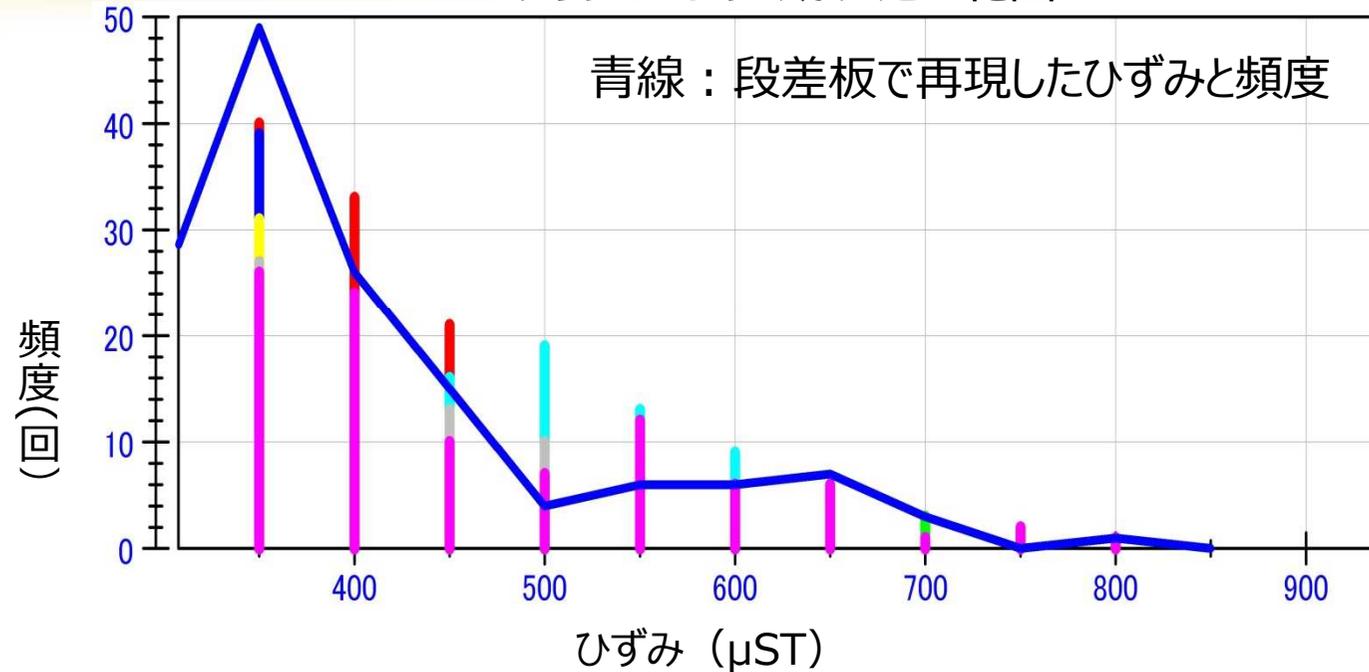
グラフ3 8か所の公道を10分間走行したときのひずみの大きさと頻度分布



- 前ホークに生じるひずみは、走行する場所が異なっても同じ傾向を示す結果が得られた。
- ひずみが大きい範囲の頻度を再現できれば、公道を想定した耐久試験が実施できる。
 - 一般に、ひずみが小さい範囲は、頻度が多くても疲労寿命への影響は小さくなる。

◆ 公道走行によるひずみの頻度分布 ～前ホーク～

グラフ4 ひずみが大きい範囲



- 公道を走行する代わりに、段差板でひずみが大きい範囲を再現できないか検討した。



- 試験条件を統一し、再現性を確保する。
- 小さいひずみを省略することで試験時間を短縮する。

- 500μST前後の頻度がまだ足りないが、概ね公道の走行に近い結果が得られた。

公道走行を想定した試験用路面について まとめ

- 歩道などの公道を走行する自転車は、段差から受ける衝撃の回数、ひずみの大きさに一定の傾向がみられました。
 - 事故の再現試験において、被害者が走行していた道路ではなくても試験結果に妥当性が与えられます。
 - ひずみの大きさと頻度を再現できる段差板を用意すれば、公道を走るより再現性の良い試験が可能となります。
 - 振動試験機を使用するとき、ひずみが小さい振動を省略し、回数が少なく大きなひずみだけを再現することにより試験時間を短縮できます。

■ 最後に

- 自転車は長く使用される製品です。製品の寿命は、溶接状態に大きく影響されるため、事前に溶接方法の検討、耐久性の確認が重要です。
- 公道を想定した耐久試験は長い時間を要しますが、路面の振動には一定の傾向が認められますので、大きいひずみの範囲を実測データから抽出することで試験時間の短縮が可能です。
- 振動試験機を使用すれば、より試験時間の短縮を図ることができます。